

⑩ 日本国特許庁(JP) ⑪ 特許出願公開  
⑫ 公開特許公報(A) 平3-229870

⑬ Int. Cl.<sup>5</sup> 識別記号 庁内整理番号 ⑭ 公開 平成3年(1991)10月11日  
C 23 C 14/54 9046-4K  
14/34 9046-4K  
14/50 9046-4K※  
審査請求 有 請求項の数 25 (全23頁)

⑮ 発明の名称 平面及び非平面の支持体上に光学的な性能を有する薄いフィルムを  
付着させる方法

⑯ 特 願 平2-190360

⑰ 出 願 平2(1990)7月18日

優先権主張 ⑱ 1989年7月18日 ⑲ 米国(US) ⑳ 381606

㉑ 発 明 者 ボール エム レフェ アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95401 サンタ ロ  
ツブル ーザ イースト シロー ロード 133

㉒ 出 願 人 オプティカル コーティ アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95401 サンタ ロ  
ング ラボラトリー ーザ ノースポイント パークウェイ 2789  
インコーポレーテッド

㉓ 代 理 人 弁理士 中 村 稔 外 8 名  
最終頁に続く

明細書の浄書(内容に変更なし)

明 細 書

1. 発明の名称 平面及び非平面の支持体上に光  
学的な性能を有する薄いフィル  
ムを付着させる方法

2. 特許請求の範囲

(1) 円筒状キャリアー上で支持体を回転させ、か  
つ前記キャリアーの周囲に沿った選択した位置  
において断面の厚さを制御した物質の薄い塗膜  
を前記支持体上にスパッター付着させ、選択し  
た雰囲気中で前記物質を化学的に反応させて前記  
支持体上に選択した薄いフィルムを形成するこ  
とを含む、支持体上に薄いフィルムを形成する  
方法。

(2) 曲面の支持体を提供し、かつ平坦な支持体上  
に形成されるものと等価な光学的性質を有する  
薄い塗膜を前記曲面の支持体上に形成すること  
を含む光学的性質を有する薄いフィルム塗膜の  
形成方法。

(3) 前記塗膜が金属酸化物、金属窒化物及びその  
他の反応した金属化合物から選択される請求項

(2) 記載の方法。

(4) 曲面の支持体を提供し、約100乃至150  
A / 秒の瞬間的な速度で前記曲面の支持体上に  
薄い金属塗膜を付着させ、かつ平坦な支持体上  
に形成されるものと等価な光学的性質を有する  
酸化物に金属を変換することを含む光学的性質  
を有する薄いフィルム塗膜の形成方法。

(5) 曲がった経路に沿って支持体を回転させ、付  
着させる物質の塗膜の断面の厚さを制御するた  
めに以下のパラメータ：系全体の圧力、スバッ  
ターされた物質の動力的エネルギー、スバッ  
ターされた物質の質量、スパッター付着プロセ  
スに用いられる作業ガスの質量、ターゲット及  
び支持体間距離及び支持体の形状の偏心率のう  
ちの少くとも一を制御して前記支持体上に薄い  
塗膜をスパッター付着させることを含む支持体  
上に断面の厚さの制御された薄いフィルムを形  
成する方法。

(6) 均一な厚さを得るために前記選択したパラメ  
ータを制御する請求項(5)記載の方法。

- (7) 前記支持体が凸面である請求項(6)記載の方法。
- (8) 前記支持体が円筒状である請求項(7)記載の方法。
- (9) 前記支持体が球状である請求項(8)記載の方法。
- (10) 前記支持体が管状である請求項(8)記載の方法。
- (11) 制御した不均一な厚さを得るために前記選択したパラメータを制御する請求項(5)記載の方法。
- (12) 前記支持体が凹面である請求項(11)記載の方法。
- (13) 薄いフィルムを形成するために選択した雰囲気中で回転する支持体に付着させた物質を反応させることを更に含む請求項(5)記載の方法。
- (14) 均一な厚さを得るために前記選択したパラメータを制御する請求項(13)記載の方法。
- (15) 前記支持体が凸面である請求項(14)記載の方法。
- (16) 制御した不均一な厚さの断面を得るために前記選択したパラメータを制御する請求項(5)記載の方法。
- (17) 前記支持体が凹面である請求項(16)記載の方法。

- (25) 前記薄いフィルムが金属酸化物である請求項(24)記載の方法。

法。

- (18) 前記支持体がターゲットを通りすぎて回転する間、ターゲット及び支持体間距離に反比例するようにターゲットの電力を変化させることによりフィルムの断面の厚さを制御する請求項(13)記載の方法。
- (19) 前記支持体が凸面である請求項(18)記載の方法。
- (20) 前記支持体が凹面である請求項(18)記載の方法。
- (21) 前記薄いフィルムが酸化物、窒化物、水素化物、含炭素化合物及び合金及びそれらの複合材料から選択される請求項(15)記載の方法。
- (22) 前記薄いフィルムが金属酸化物である請求項(15)記載の方法。
- (23) 前記支持体が凹面である請求項(15)記載の方法。
- (24) 前記薄いフィルムが酸化物、窒化物、水素化物、含炭素化合物及び合金及びそれらの複合材料から選択される請求項(23)記載の方法。

### 3. 発明の詳細な説明

本出願は、1988年2月8日に出願された“磁電管スパッター装置及び方法 (MAGNETRON SPUTTERING APPARATUS AND PROCESS)”という名称の特許願第154,177号の部分継続特許願である。

本発明は、超耐熱性の金属及び／又は酸化物、窒化物、水素化物、炭化物及びその他の化合物、混合物、溶液及びそのような金属の合金のような薄いフィルムを高速で均一に付着及び形成するための方法及び装置、及び複合フィルムの付着及び形成に関する。そのようなフィルムは断面の厚さが制御され、平面及び非平面、凹面及び凸面の支持体上に形成される。

本明細書において使用される“断面の厚さが制御された (controlled thickness profile)”という用語は、所望の光学的性質を成就するために中心から端部へ彎曲した支持体上に形成された薄いフィルムの断面の厚さを要求どおりに製造することを言及する。用語は制御された一定でない厚さ及び一定の厚さを含む。

円筒状及び凹面の反射鏡のような非平面の支持体上に光学的性質を有する薄いフィルムを付着させることは非常に望ましい。しかしながら、我々が“造形した (shaped)” (すなわち、非平面、凸面又は凹面) 支持体と称すべきものの上に耐久性のある、高品質でかつ均一の厚さの薄いフィルムを付着させることは困難である。特に、従来の蒸発法により斜めの入射角で付着させた塗膜は軟質で充填が不十分な傾向があるため、屈折率は低くフィルムの耐久性は不十分である。

そのような系において付着角を限定するためにはマスキングを使用することもある。第16図参照。しかしながら、マスキングは複雑な室内工具を必要とし、そのような系の効率を制限してしまう。

薄いフィルムは熱的に蒸発させた物質のガスバッチャーにより種々の半球状及び／又は放物形状の支持体上に形成されてきた。技術の工業上の応用例には、第15A図及び第15B図に描かれているような歯科用及び外科用の鏡及びM-16常

温成形 (cold) 鏡が含まれる。しかしながら、 $ZnS/MgF_2$  のような金属酸化物ではない塗布材料が、熱的蒸発ガスバッチャー法に選択される材料であると考えられる。金属酸化物は、この方法を用いて形成された場合フィルムの耐久性及び付着速度が低下すると共に屈折率が低下するので更に層を必要とする。

前述のように先行技術には限界があるため、通常斜めの入射角付着により生ずる問題がなく、支持体マスキングを用いることなく、かつ耐久性及び熱安定性のような関連する利点を有して、造形された非平面の支持体上に金属酸化物及びその他の前述の材料のような材料の薄いフィルムを付着させる方法を提供することが本発明の一つの主な目的である。

非平面の支持体上に高速で、非常に耐久性のある均一で光学的性質を有する薄いフィルム塗膜を形成することももう一つの関連した目的である。

最適な光学的性能を提供するために所望の均一又は不均一の厚さの前述のような塗膜を形成する

ことも更に別の関連した目的である。

一面においては、本発明及び先行技術間の基本的な違いは、本発明においては付着及び反応が可動支持体キャリアーの周囲に隣接する長くて狭い軸方向のゾーンで成されるということである。この面によれば、本発明の反応は、比較的低圧の領域により金属付着ゾーンとは物理的に隔離された長くて狭いゾーン中で反応性ガスの高い圧力下非常に有効な方法で強力プラズマにより成される。酸素又はその他の反応性ガスから強い反応性プラズマを発生させるためのキャリアーの周囲に隣接する長くて一様な高強度イオン束を生ずるように配置された線状磁電管又は適するように構成されたイオンガンのような反応性イオン源の使用により、高圧反応性の容積は実質的に高エネルギーガス種を含み、反応に必要な時間を非常に短縮させる。従って、この技術の別の利点は、技術が酸素のような反応性ガスに限定されないということである。むしろ、化合物は窒素、水素、気体状の炭素の酸化物等のような反応性の低い気体種を用い

て窒化物、水素化物、炭化物等に形成される。本発明は先行技術の前述の欠点を全て克服する上に、かなりの付着速度の増大が複数の位置 (ステーション) の使用により実現するという利点を提供する。得られる反応性ガスの圧力及び付着速度は、先行技術の装置を用いて実際に得られる付着速度より十分上である。曲面の支持体もびったりしたじゃま板の必要性がないため塗布される。

この用途において、本発明及び先行技術間の基本的な違いの実際的な価値をきわめたせる用途の実施例を提供する。

超耐熱性金属塗膜及び金属酸化物塗膜のような光学的特性を有する誘電性塗膜を含む薄いフィルム塗膜を形成する今日好ましい方法においては、支持体が回転円筒状ドラムキャリアー又は回転遊星歯車キャリアー上に設けられている円筒状加工配置を用いる。支持体は、(1) 珪素、タンタル等を付着させるための金属付着様式で作業する少くとも1個のスパッター装置 (たとえば、平面磁電管又はC M A G回転磁電管)、及び(2) 反応性プラズ

マ様式で作業する平面磁電管のような好ましくは1個以上の同様な装置、又は酸素又は限定するわけではないが窒素、水素又は気体状の炭素の酸化物を含むその他の反応性ガスを用いて反応性の強いプラズマを発生させるためのキャリアーの周囲に隣接する長くて均一な高強度のイオン束を製造するように構成されたイオンガン又はその他のイオン源を交互に含む一組の加工ステーションを通過させる。装置は完全に物理的に分離した付着及び反応のためのゾーンを提供する。同様な磁電管陰極を用いる場合には、一方は比較的低い分圧の反応性ガス(たとえば酸素)を用いて金属付着様式を提供するように作業させ、もう一方は比較的高い分圧で酸化等のための反応性の強いプラズマを発生させるように作業させる。

支持体及び陰極はドラムの内側又は外側(又は双方)に位置しうる。また、装置は付着速度及び形成される材料の数を増大させるために各組の加工ステーションに複数個の陰極/イオンガンを使用しうるという点で評価しうる。種々の加工ステ

ーション装置は室内に設けることができ、付着及び、たとえば異なる金属の酸化のために別々に、連続して又は同時に作業しうる。一実施例としては、4つのステーションが選択的に設けられており、 $Ta_2O_5$ 及び $SiO_2$ の層を交互に迅速に形成するためにタンタルの付着、酸化、珪素の付着及び酸化を順に実施するように作業する。

本発明の方法においては、付着陰極の電力及び支持体の回転又は並進の速度間の関係が要求どおりにできるので、通過するたびに一層以上の原子層の付着が得られる。更にその他の材料の陰極を追加し、各陰極への電力を調整することにより所望の割合で効果的に合金が創造されうる。たとえば、陰極への相対電力を調整するだけで、広い面積にわたってNi及びCrの陰極から所望の割合でNiCrを形成しうる。酸化ステーションを追加することにより、超伝導が知られているバリウム銅イットリウムのような錯酸化物を形成しうる。

スパッター付着ステーション及び反応性プラズマステーションを組合せた本発明のスパッター系

において使用する円筒状の回転体は大量の平面及び曲面部品上に光学的性能を有する塗膜を迅速かつ均一に付着させる。管又は多角形のような部品は二重回転遊星歯車装置を組込むことによりその周囲全体のまわりに均一に塗布されうる。更に、ランプのガラスカバーのような複雑な形状の上にも均一な塗膜を付着させうる。多数の支持体/大きなドラムの表面積に付着層及び熱が広がるような所与の電力で高速付着速度を提供する金属様式の付着の効率が平坦なプラスチック及びその他の低融点材料上に高速で塗膜を形成しうるような速い付着速度及び低い支持体の加熱の独特な組合せを提供する。

比較のための基準を提供すると、本発明の方法では $Ta_2O_5$ に関しては約100乃至150 A/秒、 $SiO_2$ に関しては約100 A/秒の瞬時形成速度を提供するが、従来のDC反応性オキシッドスパッター法ではターゲットからの酸化速度は10 A/秒以下である。

一特定面においては、本発明は球状、曲面状及

び非均一の自由な形状の支持体上に均一又は変化した厚さの制御された厚さの断面を有する耐久性のある高品質塗膜を再現性よく形成するために制御されたプロセスパラメータを用いることにより先行技術のそのような支持体上への多層及び単層の薄いフィルムの真空付着に伴なう多くの困難を除去する。曲面及び平面上に制御された付着を成就する際の困難を克服するためには、すでに種々の技術が試みに用いられている。

たとえば、均一の問題の解決には、二重又は三重の支持体の回転及び付着物質の雲を"散乱させる"ための不活性ガスの導入の組合せが試みられた。蒸気の発生速度を低速領域にあわせるためには蒸気発生が多い領域を保護するマスキング技術を使用した。曲面上の斜めの入射付着に伴なう耐久性の問題はそのような領域をマスキングすることにより除去した。

しかしながら、これらの散乱及びマスキングによる方法は困難を伴なう。前述のように、散乱は、耐摩耗性及び耐熱性の不十分な軟質塗膜を生成す

る  $ZnS/MgF_2$  のような材料に主として用いられる。金属酸化物のような硬質塗膜材料は、ガス散乱蒸発法により製造された場合加熱されたときに屈折率が低下し、フィルムの耐久性が不十分となる。マスキングは、特に曲面及び球のような複雑な曲面については塗布用の室内工具の複雑さが増し、付着速度が低下する。

前述のように、本発明は単純な軸方向回転運動及び高速反応性スパッタースキームを用いることによりこれらの問題を克服する。軸方向の回転により赤道方向の軸に沿って均一性が得られ、スパッターに伴う高圧により極性の均一性のためのガス散乱効果が提供される。スパッターされた原子の高エネルギーはガス散乱の加熱効果を克服するのに十分であり、その結果良好な耐久性を示す金属酸化物のような物質のフィルムを形成する。高速は、球のような（限定するわけではない）支持体が高速金属スパッターゾーン及びエネルギーの高い反応性プラズマを交互に通過して回転する前述のような独特な反応性スパッタースキームを

用いることにより成しうる。この円筒状のものの回転及びスパッター付着及び反応技術（現在では、平面磁電管及び反応性プラズマ技術）の組合せにより望ましい結果が得られる。大きな表面積及び／又は多数の平面又は球面又はその他の、複雑な屈曲に形成された及び／又は低融点材料から形成された自由な支持体を含む支持体上に高速で制御された厚さに付着された再現性のある非常に耐久性の光学的な薄いフィルム塗膜が提供される。

本発明に関して本明細書において使用されている“断面の厚さが制御された (controlled thickness profile)”又は“均一性の制御された (Controlled uniformity)”のような句は、平面又は曲面上に精確に一定の厚さの塗膜を付着させる能力ばかりではなく、分光性能のような所望の設計の目的を成就するために曲面に沿って付着させた塗膜の厚さを制御して変化させる能力も意味することは強調されるべきである。高い入射角においては短波長にシフトすることが光学的な薄いフィルムの固有の性質であるため、また造形

された支持体の表面には種々の入射角が存在するため、塗膜は反射鏡の表面上で分光性能の釣り合いがとれるように要求どおりに製造されるべきである。たとえば、第15A図及び第15B図に模式的に描かれているMR-16反射の場合には、反射鏡の中心における入射角は約 $10^\circ$ であるが、反射鏡の端部における入射角は $53^\circ$ 程度の大きさである。均一な薄いフィルムは（ $10^\circ$ の入射角に対して）短波長側に約5%光学的厚さをシフトさせるであろう。本発明の方法を用いると、MR-16反射鏡上の厚さを均一にすることができし、分光性能の釣合のためにまた投光を均一にするために中心より端部の方が約5%厚い塗膜を製造することもできる。

一面においては、本発明は限定するわけではないが $SiO_2$ 、 $TiO_2$ 及び $Ta_2O_5$ のような物質の単層又は多層光学フィルムを高速で形成しうるスパッター付着系を提供するために分圧分離組織において作業する線状DC磁電管スパッター陰極及び回転円筒状加工物輸送機関を組合せる。この組合せは、

以前線状磁電管スパッター及び回転加工物輸送機関が不適合で、分圧分離を施行するには（先行技術に示されるように）困難が伴ったけれども成就された。

第1図及び第2図は、それぞれ本発明の磁電管増大真空スパッター系の単一回転実施例の単純化模式的透視図及び横断面図である。図示されたスパッター系10は真空加工室を形成するハウジング11を含み、第2図に示される適する真空ポンプ系12に結合している。真空ポンプ系には、排気口13により真空室の排気を行うために低温ポンプ又はその他の適する真空ポンプ又はそれらの組合せが含まれる。系10にはまた軸16のまわりを回転するように取付けられ、種々の形状及び寸法の支持体15の取付に適合する円筒状の側面を有するケージ様ドラム14も含まれる。支持体15は、ドラムの外周のまわりに離隔して位置するスパッターステーションに外面が面するように、又はドラムの内周に沿って離隔して位置するスパッターステーションに内面が面するようにドラム

14上に直接取付けることができる。

あるいは、第3図に示されるように、系10はドラム14と結合して、あるいはその代わりとして一以上の二重回転運動取付装置25を含んでもよい。示される遊星歯車装置は、単独又は単一回転支持体固定位置15と組合せてドラム上に提供しうる。遊星歯車装置は、管18のような部品に二重回転運動を付与するように取付けられている。遊星歯車装置系25は、軸16により駆動される太陽歯車19を含みうる。単独又は輪歯車(図示せず)と結合して、太陽歯車19は関連した遊星歯車21をそれ自身の回転軸線21A並びに太陽歯車の回転軸線16Aのまわりに回転させる。図示された実施例においては、遊星歯車21は、軸線22Aのまわりを回転させるために軸に取付けられている一列の歯車22と作業するように連結している。管18が軸線22Aのまわりの遊星歯車支持軸に取付けられ共に回転する。この遊星歯車取付装置の結果、軸線16Aのまわりの可逆性路16Bに沿ってドラム14及び太陽歯車19が

回転すると、軸線21Aのまわりの路21Bに沿って遊星歯車21が回転し、この回転は歯車の列により軸線22Aのまわりの路18Bに沿って管18を交互に回転させる。太陽歯車19及び遊星歯車21の二重回転運動が全周のまわりに均一に位置する管のような部品を塗布する能力を増大させる。

更に、第1図乃至第3図によれば、図示された実施例においては一般的に参照番号30で示される複数の磁電管増大スパッター装置がドラム14の外周のまわりに位置する。一実施例においては、珪素のような物質を付着させるのに26で示されるステーションを用い、一方ステーション27はタンタルのような別の物質を付着させ、ステーション28は酸素のようなガスを支持体と反応させて付着した金属層(単層又は多層)を酸化物に変換させるのに用いる。このようにして、ドラム14を回転させかつスパッター及び反応ステーション26、27及び28を選択的に作業させることにより、金属及び/又はそれらの酸化物を

実質的にいかなる望ましい組合せであっても選択的に支持体上に形成しうる。たとえば、ドラム14を回転させ、連続的に陰極28を作業させながら陰極26及び27を連続して活性化することにより、系10は数原子の厚さの珪素層を形成して珪素を $\text{SiO}_2$ に酸化し、次いで数原子の厚さのタンタル層を付着させてタンタルを $\text{Ta}_2\text{O}_5$ に酸化させることができる。この順序は、精確に厚さの制御された $\text{SiO}_2$ 及び $\text{Ta}_2\text{O}_5$ の層の複合光学塗膜を形成する必要に応じて繰返したり変えたりしうる。アルゴンを酸素に変えることにより、位置28のステーションと同様な酸化ステーション30に付着ステーション26及び27と同様な平面磁電管陰極を使用しうることは注目すべきである。第6図及び第7図に示されるイオンガン又は線状磁電管イオン源のような反応性イオン化プラズマを発生させるその他のイオン源、又は必要な反応性DC又はRFプラズマを発生させるその他の装置も使用しうる。

第4図及び第5図は、バクテク(VacTec)又は

その他の供給源から市販されており、第1図及び第2図に示されるステーション26及び27、及び任意に28で使用されうるDC磁電管スパッター装置30の一種を示す。スパッター装置30は陰極31を取付け、シャッター(図示せず)により選択的に閉じられる開口36を有する正面の反応性ガスじゃま板32を形成するハウジングを含む。陰極31は、陽極ポテンシャル(通常接地)であるじゃま板32に対して陰極にたとえば-400乃至-600Vの電圧を供給するため電力供給源33と連結している。ターゲット34の表面に沿って供給された電場に垂直に長方形の走路形状の磁場Bを供給するために陰極内には永久磁石(図示せず)が取付けられている。マニホールド管37がターゲット34に隣接して位置し、酸素のような反応性ガス又はアルゴンのような不活性作業ガスをじゃま板32及びターゲット34により郭成されるスパッター室に供給するためにガス源と連結している。装置は、入口38を経て供給され出口(図示せず)に循環している水によ

り冷却される。個々のスパッター装置30内のじゃま板32は第1図及び第2図の加工室10全体を、異なるガス雰囲気及び／又はガス分圧が確立しうるように各スパッター装置において異なる領域又は副室に効果的に分割する。反応性及び非反応性ガスの領域間の分離を改良するために一以上の追加のポンプを設置しうる改良が容易に施行されうるであろう。

スパッターステーション26及び／又は27において線状磁電管スパッター装置30を用い、反応ステーション28において以下に記載する第6図及び第7図のイオン源40のような異なる種類の装置を用いると酸化物のような化合物誘電性フィルムが形成されうる。あるいは、スパッターステーション26及び／又は27及び反応ステーション28において少くとも2つのじゃま板の付いた線状磁電管スパッター装置30を使用しうる。いずれの場合も、スパッター装置及びイオン源装置は異なる分圧組織又は室領域に密閉され、その間を支持体が連続的に回転するドラムにより交互

に移動する。じゃま板付磁電管陰極30をスパッター及び酸化の両方のために使用する場合には、珪素又はタンタルのような選択された金属をスパッターするために設計されたターゲットを用い室10内の酸素中で比較的高電力密度で陰極を作業させる。しかしながら、金属の付着のためにステーション26及び27において使用されるじゃま板分離磁電管陰極は、金属様式で作業させ、その結果高速度で金属を付着させるための反応性ガス(酸素)の低い分圧環境で作業する。低い酸素分圧は、アルゴンのような不活性作業ガスをマニホールド37により室内に流入させることにより供給される。その他の種類のじゃま板付磁電管陰極28は比較的高い反応性ガス分圧で作業させ、スパッターは非常に低速度で金属を付着させるが、非常に高速度で金属を酸化する。比較的低速のターゲットは全付着速度をほとんど増さないで、制御に影響を及ぼさないが、室内の酸素を容易に生長する薄いフィルムと反応させる非常に反応性のプラズマを製造し、その結果、比較的低い室内

酸素の分圧の使用を許容し、このことが陰極の安定性及び速度を増大させる。この反応性スパッター法は高速度で付着され、十分に酸化されかつ光学的性能の良好な反復性の薄いフィルムを提供する。

第6図及び第7図は、第1図及び第2図の反応ステーション28において望ましい狭くて長い反応ゾーンを提供するために使用しうる線状磁電管イオン源40の現在好ましい実施例を示す。線状磁電管イオン源40は、別々のプラズマにおいて反応性ガスからイオンを発生させるためにスパッターするプラズマと共に電子を用いる。これらのイオンは支持体上のスパッター付着物質に衝撃を与え、スパッターされた物質の化合物を形成する。イオン源40は第4図及び第5図に示されている陰極集成体31及びハウジング32を使用しうる(明瞭のために、第6図及び第7図においてはハウジング32は削除されている)。線状磁電管イオン源としての使用に適合するように、直接冷却された陰極31には、陰極本体中の水循環流

路45をシールするためにターゲット34の代わりに非磁性ステンレス鋼のカバープレート43を断然的に取付けるために正面にリング41及びねじ穴42を含む。前述のように、陰極31にはまたプレート43を陰極に組合せたときにプレートに沿って長方形の“走路”形状44の磁場Bを提供する永久磁石(図示せず)が組込まれている。

イオン源40は、回転しうる支持体キャリア14の周囲に隣接して、その長さ方向すなわち軸線40Lが第1図のキャリア14の軸線16Aと平行で、その幅すなわち短い軸線40Wが第3図のキャリアの円周及び回転方向16Bと平行に取付けられている。

非磁性プレートに取付けられている柱47の上に、磁電管走路44の長い方の両側に沿って一対のステンレス鋼棒状陽極46-46が取付けられている。陽極46は、第7図に示されるように棒状陽極46中の穴49へ延在する比較的小さな部分及びステンレス鋼プレート43から陽極を精確

に離隔させるのに投だつ大きな底部分を有する段付隔離がいし48により柱47及びプレート43から絶縁されている。取付のために柱47が隔離がいし48及び棒状陽極46中の穴49に挿入され、ナット51により固着される。

各陽極46は、磁電管走路44の長い方の辺よりわずかに短いまっすぐな棒である。各陽極の曲がった、一般的には円筒状の外側表面52は、第7図の磁場線Bの形状と密接に適合する。陽極46はリード線53により、たとえば+50乃至140ボルトバイアスに数アンペアの電流を供給しうる従来の電力供給源54に連結している。好ましくは、リード線をプラズマから隔離し、リード線で放電するのを妨げるためにハウジング内のリード線53に沿って絶縁ビード56（又はその他の適する絶縁材）を取付ける。典型的な作業は、呼称寸法が20インチ（50.8cm）の長さの磁電管陰極で2乃至4アンペア及び100乃至120ボルトである。

前述のように、線状磁電管イオン源40の取付

46から加速される反応体ガスから多くのイオンを発生させ支持体に対して反応プロセスを増大させる、すなわち反応体ガスとして酸素を用いてスパッターされた金属の酸化を増大させる。

要するに、作業中には細長い逆の線状磁電管イオン源40は、その長い方の寸法が実質的に支持体キャリアードラム14の高さに、及びその短い方の寸法が回転方向に平行なキャリアーの周囲に沿って郭成される磁電管の走路44により郭成される強くて長く狭い反応ゾーンを提供する。実質的に単一のスパッターゾーンの外側の全容積が酸化に用いられるという先行技術の要件とは対照的に、現在の意見ではイオン源40は幅がわずかに約5乃至6インチ（12.7乃至15.2cm）で直径29インチ（73.7cm）のドラム14の円周の小さな部分を占める（ $5''/\pi D = 5''/91'' = 5.5\%$ ）反応ゾーンを有するが、強い磁場が増大させるプラズマ反応のため、典型的には1回通過しただけで付着された薄いフィルムを完全に酸化する。小さなイオン源陰極寸法及び速い反応速度

位置すなわちステーションはスパッター領域26又は27の外側であるが関連するプラズマの内部であり、このものは実質的に真空スパッター室に延在している。作業においては、ステンレス鋼の棒状陽極46を陰極31及びステンレス鋼のプレート43（これらは系において接地されており、周囲のプラズマ中の電子に関して大きい正のポテンシャルを有する）と比較してたとえば100乃至120ボルトの正のDC電圧に保持するために電力供給源54を用いる。第7図に最も明らかに示されるように、陽極の曲がった表面52が磁場線Bに実質的に垂直な電場線Eを提供する。関連するプラズマ中の電子は正の陽極46に向けて加速され、磁電管の走路に沿って得られた $E \times B$ の場により捕捉又は閉じこめられ、隣接する入口マニホールド57より供給される反応体ガスとの衝突の確率が非常に増大することにより、走路の形状44により郭成された強いプラズマが発生する。強いプラズマは、陽極及びバックグラウンドのプラズマ間に存在するポテンシャル勾配により陽極

により独特な可能性が提供され、多数のスパッター陰極及び酸化反応陰極を使用することにより高速、高容量、高処理量の付着及び付着される塗膜の組成の選択の応用自在性が得られる。

回転しうるドラム及びじま板付磁電管増大スパッター及び反応陰極の組合せにより、最小量のマスキングで平面、曲面及び不規則な形状の支持体上に測定可能な厚さの精確に制御しうる光学的性能を有する金属の誘電層を高速で提供した。また、所与の層が多数の塗布により製造されているので、陰極アークの影響は非常に減少する。というのは、いかなるアークも塗膜の一部のみしか代表しないからである。更に、金属様式の作業の場合には、磁電管のアークは典型的には回数及び強度が少ない。

前述の方法は、限定するつもりはないが、珪素、タンタル、チタン、鉄又は金属様式でターゲットを作業させる、大気中で安定な酸化物を形成するスパッター可能なその他の金属材料のような金属材料をスパッターすることを含み、新たに付着



されたフィルムを酸化物に変換する反応性の雰囲気中に暴露するのに好ましくは磁電管増大スパッターを使用するイオンプロセスを確立する機械における他の場においても最高速度のスパッターを特徴とする。金属は、その後の反応プロセス中の酸化が完了するために好ましくは数原子以下の厚さで付着させる。典型的には、ドラム14を空間的に連続するスパッター及び反応ゾーンを通過するように回転させ、スパッター付着、酸化、スパッター付着、酸化のプロセスを酸化物層が所望の厚さの $\text{SiO}_2$ のような物質にするのに必要なだけ繰返す。従って、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ のような異なる層を形成する場合には同様な反復プロセスを繰返す。明らかに、種々の酸化物形成サイクル及び金属付着サイクルは、酸化物単独、酸化物及び金属、又は金属単独の複合材料形成の必要に応じて適用しうる。

前述のように、イオンガン又は平面磁電管のようなイオン源からの局所的に強いイオン化反応性プラズマは酸化反応を提供するために使用する。磁電管スパッターにより付着させた金属のフィル

ムの均一性は精確で、円筒状の形状が物質のスパッターの均一分布を許容する。従って、陰極の幅又は長さはいずれであってもプロセスの時間及び電力の制御が可能であり、従って従来のDC磁電管反応性プロセスに伴なう制御性、計測性及び処理量の歴史的な問題を克服する。以下の実施例において示すように、この能力は従来の真空蒸発プロセスを用いて付着させるのは困難である16分の1の可視波長の光学的な層のような分数の光学的層の精確な付着を許容する。

第8図は、真空スパッター室の両側に位置する一対の低温ポンプ12-12、回転ドラム14の内側に外側に面して形成されている複数個の珪素スパッター装置26及びタンタルスパッター陰極27及び回転ドラム14の外側に内側に面して位置する点々と配置されている酸化装置28を含む交互スパッター系60を示す。示された系は、管のような加工物の周囲を内部及び外部の両方のスパッターステーションに均一に暴露するための遊星歯車支持体取付及び駆動装置25を含む。この

装置、及び多数の珪素、タンタル及び酸素の陰極により、珪素及びタンタル層及び前記層の酸化が多数の支持体上で高速で成されうる。たとえば、 $\text{SiO}_2$ 及び $\text{Ta}_2\text{O}_5$ を含む複合材料層は、上方右の酸素陰極28と同時に珪素陰極26を作業させ、次いで下方左の酸素陰極28と同時に全てのタンタル陰極を作業させることにより形成しうる。

更に別の用途においては、前述の円筒状スパッター系において使用されるドラムが塗布機的能力を拡張するために実験中に支持体を動かしたり回転させたりする工具を含む。180°回転すると支持体の各バンクがスパッターステーション又は別のドラムに面するような平行なバンク又は面を有する支持体、又はたとえば断面が三角又はその他の多角形で遊星歯車装置により回転すると面又は周囲全体が選択されたスパッターステーションに面する多面体の支持体の使用が可能である。支持体は、選択的に支持体を作業ステーションに向いあわせるためのコンピュータ制御下の回転のためにドラムの軸線に平行な軸線のまわりに取付け

られている。

前述のように、また以下の数例の実施例に示されるように、本発明は平らな支持体表面及び凸面及び凹面の双方を含む曲面の支持体表面に沿って一定の厚さの塗膜を提供しうる。更に、精確に塗膜の厚さを制御する能力は平面及び曲面の支持体表面に沿った塗膜の厚さを選択的に変化させることも含む。以下に示すように本発明の方法は非常に曲がった支持体上に速い形成速度で（現在ターゲットにおける瞬間速度は100乃至150Å/秒）平面の支持体上で得られるものと同様な光学的性質を有する（たとえば、反射率及び透過率を特徴とする）耐久性のある光学的性能を有する酸化物の薄いフィルム及びその他の薄いフィルムを形成する。

本発明の背景に関する記述において述べたように、先行技術の光学的塗膜の技術を用いる場合には円筒のような“造形された”凸面の支持体上に耐久性のある高性能かつ均一の厚さの光学的性能を有する薄いフィルムを付着させることは困難で

あった。特に、従来の蒸発法により斜めの入射角で付着させた塗膜は軟質で充填が不十分であり、光学的性質が低い傾向がある。

第16図に模式的に示すように、そのような系において付着角度を限定するためにはマスキングを用いた。図示された先行技術の系においては、付着を小さな角度（典型的には最大 $30^\circ$ ）に限定するために源及び支持体間に円筒状の支持体18に密接して軸方向のマスク70が位置するため、大きな角度（ $30^\circ < \theta < 90^\circ$ ）で付着することにより生ずる不十分な性能のフィルムは得られない。しかしながら、マスキングは付着及び処理量を減少させ、複雑な工具を必要とする。

本発明は、斜めの入射角からの付着に伴う問題がなく、またそのような問題を回避するために支持体をマスキングしたり関連する複雑な室内工具を用いたりする必要がなく、円筒を含む凸面状の支持体上に薄いフィルムを付着させることができる。特に本発明の方法は、円筒状及びその他の凸面状の支持体上に高速度で非常に耐久性のある、

均一な、光学的性能を有する薄いフィルム状塗膜を形成するという今まで達成することのむずかしかった目標を達成する。

本発明の方法は、前述の単純な軸のまわりを回転する支持体運動及び高速反応性スパッタースキーム（第1図乃至第3図）を用いることにより斜めの入射角からの付着に伴う問題を克服する。特に、本発明の方法はマスキングを用いることなく円筒状の支持体及びその他の凸面状の支持体上に高速度で非常に耐久性のある、均一な、光学的性能を有する薄いフィルム状の塗膜を形成するという今まで達成することのむずかしかった目標を達成する。スパッタープロセスでは約5乃至20 cmのターゲット及び支持体間の距離において約1乃至5 mTの高圧となるので粒子間の衝突がたくさん生じ、その結果ガスの散乱度が高くなり第3図の極性の軸線16Pに沿った必要な均一性が可能となる。同時に、本発明の方法に固有である約10 eVの高いスパッターされた粒子のエネルギーがいくらかガスの散乱を減少させ、ガス散乱の利

点を保持しつつ良好な耐久性を提供する。

更に、この反応性の全方向スパッタープロセスと第3図に示される二重回転運動スパッタースキームを組合せると、赤道方向の軸線16Eのまわりの $360^\circ$ に均一な付着が可能となる。第5図の線状磁電管スパッター源（限定するわけではない）のような軸方向に細長いスパッター付着源を使用すると、第3図の円筒状のガラス管18のような細長い支持体にスパッタースキームが適合する。

三次元的に曲がった支持体を均一に塗布する能力及び $360^\circ$ にわたって塗布する能力は円筒状のガラス管18に関して第17図に模式的に示されている。特に第3図に示されている二重回転運動スパッタースキームを本発明の高圧高エネルギー反応性スパッター法に固有である全方向均一付着と組合せて使用すると曲がった端部を含む電球18全体の上に塗膜を形成する。

また、前述の第3図に示される独特な反応性スパッタースキームにより高速付着速度が得られる。

このスキームにおいては、円筒状ガラス管18のような支持体が高速度で(1)支持体上に数層の単分子層（典型的には2乃至5 Å）の塗膜を形成する高速金属スパッターゾーン26、27（第1図）、及び(2)酸化、窒化等のような選択された反応を実施し、付着したフィルムの厚さを完全に酸化物、窒化物等に変換しうる能力を有するエネルギー反応性プラズマゾーン28（第1図）を交互に移動する。

要するに、本発明の方法は比較的単純な工具を用いマスクを用いることなく斜めの入射角の蒸着に伴う問題を克服し、凸面の支持体上に非常に耐久性のある、均一な、光学的性能を有する金属酸化物及び反応した金属化合物の薄いフィルムを高速度で形成する。

本発明の方法はまた、（限定するつもりはないが）第15A及び15B図の参照番号75により示される半球MR-16ランプ反射鏡のような放物線及び半球を含む造形された凹面の支持体上に断面の厚さが制御された薄いフィルムの塗膜を形

成する能力を提供する。(本出願人らが、反射鏡75の平面ではない形状の内部支持体表面の中心、中間部及び端部における厚さがそれぞれC、M、Eで示される第15B図の命名法を用いることに注目せよ。)以下で更に詳述するように、本発明の方法はE/Cの割合を制御された厚さが均一である(E/C=1)ようにも制御された厚さが不均一である(E/C≠1)ようにも制御しうる。

制御された厚さが均一の場合は、熱的に蒸発させた物質のガス散乱により種々の半球状及び/又は放物線状の支持体上に歴史的に薄いフィルムが形成された。この技術を工業的に応用した例には、歯科用及び外科用の鏡及び第15A図及び第15B図に示されるMR-16常温成形反射鏡が含まれる。しかしながら、前述のように、熱的蒸発ガス散乱法は典型的にはZnS/MgF<sub>2</sub>塗膜材料に限定される。というのは金属酸化物は加熱が困難であり、この方法を用いると屈折率が低下し、フィルムの耐久性が不十分となるからである。

本発明は、前述の先行技術のガス散乱法特有の

屈折率の低下及び不十分な耐久性の問題がなく、凹面の支持体上に金属酸化物及び反応した金属化合物のような多くの金属及び金属化合物の薄いフィルムを均一に形成する。すなわち、均一の、耐久性のある光学的性能を有する薄いフィルム塗膜が凹面の支持体上に(マスキングすることなく)高速度で形成される。

更に、前述のように、本発明の方法は中心から端部まで厚さが均一に制御されたフィルムを提供しうるばかりでなく、中心から端部まで厚さが不均一に制御されたフィルムも提供しうる。以下では“望ましい不均一(desired non-uniformity)”と言う。この望ましい不均一は、フィルムの厚さの均一度が支持体上の関心のある点における入射スペクトル強度の積分値に依存するので重要である。典型的には、入射スペクトル強度の平均角度は支持体の表面上で変化し、薄いフィルムの性質は入射角の関数としてシフトするので特定のフィルムの厚さを変化させることすなわち支持体上は望ましい不均一とすることが望ましい。

いくらか違った言い方をすれば、凹面の反射鏡支持体上の光学的な塗膜を含む多くの実的な用途においては、望ましいスペクトル/色のバランスを達成するにはフィルムの厚さを電球(フィラメント)からの光が鏡の表面に入射する角度に多層装置のスペクトル応答を調節するように半径(中心から端部への)方向にわたって精確に要求どおり製造しなければならない。反射鏡の端部及び中心において測定されたスペクトルの特徴を2つの波長の割合として断面を郭成しうる。これら2つの波長の割合はE/C比と呼ばれるフィルムの断面の価値の数字を与える。

本出願人らは、半球及び放物線のような凹面の支持体上に形成される薄いフィルムの望ましい厚さの均一性及び不均一性及びE/Cの割合が多くのパラメータの調節により成就され制御されうると結論した。主要なパラメータは以下のとおりである。

- 1) 全プロセス圧力、 $P_{tot}$ : E/Cは $P_{tot}$ の単調非減少関数である;

- 2) スパッターされた粒子の動力学的エネルギー、 $E_k$ : E/Cは $E_k$ の単調非増加関数である;
- 3) スパッターされた物質の質量、 $m_s$ : E/Cは $m_s$ の単調非増加関数である;
- 4) 作業ガスの質量、 $m_g$ : E/Cは $m_g$ の単調非減少関数である;
- 5) ターゲット及び支持体間の距離、 $d_{tg}$ : E/Cは $d_{tg}$ の単調非減少関数である;
- 6) 支持体のアスペクト比又はサジタル深さ: E/Cはこの割合の単調非増加関数である;
- 7) ターゲットの電力: 電力が増加するとE/Cは減少する; 及び
- 8) 作業条件の均一性。

前述の内容から、(1)系の圧力、(4)作業ガスの質量、(5)ターゲット及び支持体間の距離、又は(7)ターゲット電力が増加するとE/Cが増加する。逆に、(2)スパッターされた粒子の動力学的エネルギー、(3)スパッターされた物質の質量、又は(6)支持体のアスペクト比が増加するとE/Cが減少する。本出願人らは、多くのM-16支持体上に望ま

しい均一性及び不均一性を成就する本発明の能力を実証した。M-16支持体上に形成された薄いフィルムの特徴が前述のパラメータの証拠を提供した。たとえば、その他のすべてのパラメータを固定し、181AMUの質量を有するTaを用いると反射鏡の中心より端部の方が15%厚い塗膜が得られる。48AMUの質量を有するTiを用いると、反射鏡の端部の方が10%厚い塗膜が得られる。28AMUの質量を有するSiを用いると、反射鏡の端部の方が20%厚い塗膜が得られる。また系全体の圧力を低下させると、反射鏡の端部におけるチタンの薄いフィルムの相対的な厚さが反射鏡の中心と比べて低下する。現在、MR-16反射鏡については $E/C$ 比を $0.76 \leq E/C \leq 1.20$ の範囲で制御して変化させうる。

フィルムの断面の厚さに及ぼす重要な変数の影響を研究し、支持体の表面上の断面を最適化するために $E/C$ 比が用いられた。すなわち、本出願人は統計的な最適化プログラム、XSTATを用いて $E/C$ 比に及ぼすプロセスパラメータの影

響の総合作用を研究した。このプログラムは、スパッター付着パラメータによる所与のフィルムの特徴に関する予言式を得るのに用いた。 $E/C$ はフィルムの特徴の一として含まれた。得られた予言式は以下のとおりである。

$$E/C = (0.6554)TD + (0.25)IGC \\ - (0.91)PWR + (0.006) \\ OXY - (0.008)AR - 5.4$$

但し、式中、

TD = ターゲットの距離

IGC = イオンガン電流

PWR = ターゲットの電力

OXY = 酸素流、及び

AR = アルゴン流

本発明のスパッター法及びたとえば第1図乃至第3図に示される単一回転系を用いると非常に高い均一度を有するように全ての前述のパラメータを制御しうる。先行技術の方法のランダム変化及び固有の不均一性においては失われている程度に断面の厚さを予言し、要求どおりに製造しうる。

以下に示す実施例1は、凹面の支持体上に制御して変化させた厚さの断面を提供するこの能力を示し、実施例2乃至6は、平面及びその他の曲面の支持体上に均一な一定の厚さの塗膜を形成する能力を示す。実施例1によれば、第15A図及び第15B図の凹面の反射鏡のこの断面の典型的な値すなわち $E/C$ 比は1.05である。このことは、中心における厚さより5%大きい端部の厚さを提供するにはフィルムの堆積の厚さを徐々に増大させなければならないことを意味する。

前述のように、本出願人は凹面の支持体上に形成される薄いフィルムの塗膜の回転平面上の厚さを制御するのにターゲットの電力を用いることを考案した。更に一般的には、以下に示すようにこの方法は凸面及び凹面の支持体上に適用しうる。

第18A図及び第18B図によれば、平面、凹面又は浅い凸面(凸面の曲率は関連する回転ドラム14の曲率より小さい)である支持体200、201又は202はそれぞれ付着源30を通り越して旋回するとき、ターゲット及び支持体間距離

は中心におけるより端部における方が小さい。その結果、及び第19図の支持体の位置の関数としての塗膜の厚さのグラフ204によれば、塗膜の厚さは支持体の中心におけるより端部における方が大きい。すなわち $E/C > 1$ である。第20図によれば、ターゲットの電力205はこの固有の不均一性を相殺し、第21図に示される均一な塗膜の厚さ206を得るために、ドラム及び支持体が付着源30を通り越して回転するとき端部と比較して中心部に電力の入力を増大させることにより使用しうる。あるいは、制御された不均一性を得るために電力を要求どおりに使用しうる。

第22A図、第22B図乃至第25図に示されるように、凸面の支持体203、すなわちドラムの曲率より大きい曲率を有する支持体については逆の状況が存在する。特に、第22A図及び第22B図に示されるように、そのような凸面の支持体においてはターゲット及び支持体間の距離は支持体の中心におけるより端部における方が大きい。その結果、第23図の曲線207に示される

ように、端部における厚さは中心におけるそれより減少する。第25図の所望の断面の均一性206を得るためには、支持体の端部がターゲットの前を通過するときに中心が通過する時に使用する電力に比べて増大させる。第24図の模範的な電力曲線208を参照せよ。

支持体の寸法の増大に伴ない不均一性の問題が増大することに注目すべきである。本発明のように電力を制御して変化させるとすばらしいことに大きな支持体にも本発明の方法を適用することができる。支持体の寸法、ドラムの周囲及び回転速度により典型的に決定された割合においては、電力をわずかに数%変化させることが必要である。たとえば90回/分の速度で回転する円周100インチ(254cm)(直径30インチ(76.2cm))のドラム上に取付けられた直径10インチ(25.4cm)の平坦な支持体は約60乃至100Hzの電力の変化が必要である。その結果、第5図の磁電管ターゲット30に使用するような標準的な工業用電力供給源は周波数応答を増大させるか又は中間

装置を挿入することにより本発明の電力制御法にも適合しうる。制御可能な吸収剤を電力供給源とターゲットの間に取付けることが可能である。

要するに、本発明は半球状及び/又は放物線状の支持体上に望ましい均一性又は不均一性の金属酸化物及びその他の塗膜物質を付着させることの問題点を解決する。本出願人らの知るかぎりでは、本発明の方法は平坦な支持体上に形成される金属酸化物の薄いフィルムが有する高温耐久性及び呼称屈折率を保持しつつ曲面の支持体上に金属酸化物をうまく付着させた唯一の方法である。

特定例を考察する前に、回転磁電管スパッター装置を操作する本発明の好ましい方法に用いられる連続工程を復習することが有用である。以下に記載する実施例は第1図乃至第3図に示される単一及び二重回転装置を用いて得られるので、操作方法の記載はこの装置及び4つの(又はそれ以上の)金属スパッター及び酸化/反応ステーションを用いるこの装置の改良実施例に合わせる。

最初に、反射鏡又は管又はその他の支持体をド

ラムの周囲上に取付ける。次いで真空密閉/室をたとえば $1 \times 10^{-6}$ トルのバックグラウンド圧力に排気し、選択された速度でドラムの回転を開始する。

次に、選択された連続塗布に用いられる金属スパッター陰極を、入口マニホールド37からスパッターガス(代表的にはアルゴン)を流し入れ、関連する電力供給源33から陰極31へ電力を供給することにより発生させる。付着/(付着及び酸化)塗布サイクルを開始する前は、陰極シャッターは付着しないように閉じておく。

スパッター陰極の操作を開始するや否やイオン源又はイオン源40の操作を開始する。前述のように、イオン源40の操作はスパッター陰極30の操作に関連するプラズマを用いるので、前述のスパッター陰極の操作を必要とする。酸化剤の様式で操作するスパッター陰極30のようなある種のその他のイオン源は操作に関して別のプラズマには依存しないが、スパッター陰極の操作が安定化するまでこれらの装置を開始させないことが好

ましい。イオン源の操作は、酸素又はその他の望ましい反応体ガス又はそれらの混合物を入口マニホールド57から流し入れ、電力供給源54から電力を供給することにより開始される。

安定した操作条件、すなわち安定な選択された電力、ガス流及び圧力に確立されたスパッター陰極及びイオン源陰極を用い、選択された付着及び酸化速度を供給する特定の回転速度で操作するドラムを用いると、選択的にシャッターを開くことにより望ましい付着及び酸化の連続作業が成される。たとえば、金属1陰極、イオン源酸化剤、金属2陰極及びイオン源酸化剤の順でドラム14の周囲のまわりに4つのスパッター及び酸化ステーションが位置すると仮定すると、連続してシャッターを開くことにより以下の塗膜が得られる。

1. 金属1付着及び酸化; 金属2付着及び酸化—金属1酸化物の上に金属2酸化物(すなわち、金属1スパッター陰極のシャッター及び関連する酸化剤シャッターを一緒に開き、次いで金属2スパッター陰極シャッター及び関連する酸化

剤シャッターを一緒に開く) ;

2. 金属1 ; 金属2 及び酸化一金属1 の上に金属2 酸化物 ;
3. 金属1 及び酸化 ; 金属2 →金属1 酸化物の上に金属2 ;
4. 金属2 ; 金属1 及び酸化一金属2 の上に金属1 酸化物 ;
5. 金属2 及び酸化 ; 金属1 →金属2 酸化物の上に金属1 ;
6. 金属1 及び金属2 同時 (すなわち、金属1 陰極及び金属2 陰極のシャッターを同時に開く) →金属1 及び金属2 の混合物の層 ; 及び
7. 金属1 及び金属2 及び酸化 (金属1、金属2 及び酸化剤のシャッターを一緒に開く) →金属1 及び金属2 の酸化された混合物。

明らかに、複数の陰極を用いると実質的に無限の組合せの種々の物質の多層塗膜が形成されうる。

二種類以上の金属及び/又はその他の物質の混合物の形成中にはスパッターのシャッターを開いたまま保持し、電力、圧力、陰極の相対的な開口

寸法及び/又は相対数を調節することにより一方の金属のもう一方又はその他の金属に対する割合を変化させることが好ましいということに注目すべきである。

また、一般的には、化合物又は分離した物質の混合物のいずれかの特定の層の厚さは、関連するスパッター陰極のシャッターを開いている時間の長さにより決定する。

前述の記載及び以下の実施例に基づいて、当業者は実質的に無限の種々の組成物、化合物、合金及び単層及び多層の金属とその他の物質及びそれらの酸化物、窒化物、炭化物等の混合物の組合せを誘導しうるであろう。

たとえば、複合材料及び合金のフィルムを形成する可能性は、支持体の平面に垂直な方向に組成が連続して変化するフィルム、従って光学的性質が連続して変化するフィルムに拡張される。組成の分布は、一種以上のスパッター源に供給される電力を連続的又は周期的に変化させることにより、又は一種以上のスパッター源の開口又はシャッ

ーの開放を連続的に変化させることにより得られる。三種類の重要な装置に分類することが可能である。

支持体における支持体物質の屈折率から外側の界面における最低の実際的な値まで屈折率の変化する単一のフィルムを含む透明な反射防止塗膜が製造されうる。そのような装置は、典型的には非常に幅広いバンド幅、一般的には二オクターブ以上にわたって有効な反射防止塗膜を製造するのに用いられる。

100%のある種の金属成分から100%の外側界面におけるある種の透明な物質までフィルムの組成を変化させることにより、典型的には金属表面に一般的及び選択的吸収表面を提供するのに用いられる不透明な反射防止塗膜が製造されうる。

断面が連続的に周期的に変化する透明なフィルムが形成されうる。屈折率の分布は、固定した周波数の単純な分布か又は一層複雑な周波数の変化した分布である。そのような構造の典型

的な用途は、高い透過率の領域により一種以上の狭い反射バンドが分けられた非常に狭いバンドの反射鏡としての用途である。レーザー光が透明な波長領域の目又は光学系センサーに入射するのを保護するためにそのような装置を典型的に用いる。

#### 実 施 例

以下の実施例は、種々の支持体、すなわち、種々の物質から形成された曲面の支持体を含む支持体上に大量の(高処理量の)多層の光学的性能を有するフィルムを付着させる本発明の能力を説明する。以下の実施例に記載されるフィルムは全て第1図乃至第3図に示された装置、特に二重回転遊星歯車装置25(管状又は円筒状の支持体に対して)及び単一回転の取付位置15(サングラスレンズ及びラジパ反射鏡のような支持体に対して)を含むドラム14を用いて形成された。系は、48回/分の速度で回転する直径29インチ(73.7cm)のドラム、じゃま板間に5インチ(12.7cm)幅の開口、及び5インチ(12.7cm)

幅のターゲットを用いた。種々の物質のスバッター付着には線状磁電管陰極30を用い、付着した物質の酸化には線状磁電管イオン源40を用いた。

実施例は、記載された生成物が大量に必要であるがいずれの種類の生成物であっても高度にばらつきのないことが必要であるということが特徴であり、生成物の機能を決定する多層系の光学的及び機械的性質は生成物の表面全体にわたって非常に均一でなければならない。

実施例としてのこれらの生成物は、本発明及び前述の先行技術間の本質的な違いをきわだたせるに値する。

スバッター陰極30を用いると、本発明の技術は付着及び反应用の別々の非隣接ゾーンを用いる。ゾーン間の全圧力はアーク放電及びその後のフィルムの厚さの制御の損失を最小化する程度に低い。

ドラムの周囲の付着ゾーン及び反応ゾーンは長くて狭く、円筒状の作業表面の周囲のまわりの複数のステーションの据えつけを許容する。このことは同一プロセスのサイクル中に一種類を超える

物質を付着させなければならない場合には必要不可欠であり、このことは記載した実施例のすべてにおける要件である。

多くのステーションを許容する上に、長くて狭い規則的な形状の付着及び反応ゾーンは多くの個々の支持体及び大きな支持体面積の使用を許容し、その結果処理量は大きくなる。というのは、多くの反応ゾーン、並びに付着ゾーンが回転する支持体キャリアーの周囲のまわりに位置し、作業表面のまわりに位置する全ての支持体が同一物質の束及びプラズマ条件に暴露されるからである。このことは種々の支持体上のフィルムの厚さを非常に高度に制御することを確認し、このことが生成物における一致性において必要不可欠である。

付着ゾーン及び支持体キャリアー間にびったりしたじゃま板が不用なので、このびったりしたじゃま板が実用向ではないような曲率の支持体の塗膜を許容する。たとえば、レンズ及び管の塗膜を許容する。

#### 1. 曲面のガラス製“常温成形”鏡 (M16 & M13.25)

第1表のプロセスを用い、第15A図のガラス製ランプ反射鏡支持体75の凹面の内部表面76上に二酸化チタンと二酸化珪素の層を交互に含む反射多層酸化物塗膜を形成するのに、第1図乃至第3図に示される系を単一回転様式で用いた。第1図の支持体の位置15Bを参照せよ。高付着速度で精確に制御された均一性の二種類の物質で深皿反射鏡表面76を効果的に塗布した。塗膜は21層を含んだ。

支持体  $1 \left( \frac{H}{2} L \frac{H}{2} \right)^5 \left( \frac{H}{2} L \frac{H}{2} \right)^5 1$  周囲

627nm

459nm

但し、式中Lは二酸化珪素であり、Hは二酸化チタンであり、2つの堆積  $\left( \frac{H}{2} L \frac{H}{2} \right)^5$  はそれぞれ627nm及び459nmのQWOT（四分の一波長の光学的厚さ）において中心に集まった。前述の工業上標準的な表示法である各

$\left( \frac{H}{2} L \frac{H}{2} \right)^5$  は、二酸化チタンの二分の一のQWOT層  $\left( \frac{H}{2} \right)$  ; 二酸化珪素のQWOT

層  $\left( L \right)$  ; 及び二酸化チタンの二分の一の QWOT 層  $\left( \frac{H}{2} \right)$  を順序正しく含む層のシークエンスの5回繰返しを意味する。第9図によれば、それぞれフィルムの中心、中間部、及び端部における波長の関数としての%透過率曲線の曲線80、81及び82で示されるように、塗膜は1.05の望ましいE/C比を有し、電球の光源の色を変えることなく可視エネルギーを反射する一方、赤外光エネルギー、すなわち約700nmより大きい波長の光を透過するというスペクトル性能の設計目的を成就した。

第1表

支持体:	凹面のガラス
回転運動:	単一
物質1:	TiO <sub>2</sub> を形成するチタン
物質2:	SiO <sub>2</sub> を形成する珪素
陰極速度、物質1 (CRI):	110A/秒
陰極速度、物質2 (CR2):	90A/秒
物質1ガス:	アルゴン400 sccm

物質2ガス： アルゴン400 sccm  
 物質1電力： 6 KW  
 物質2電力： 5 KW  
 アルゴンスパッター圧力： 2.0  $\mu$   
 物質1に関するイオン源作業： 4 アンペア；125  
 sccm 0<sub>2</sub>  
 物質2に関するイオン源作業： 2 アンペア；100  
 sccm 0<sub>2</sub>  
 後作業の焼付け（塗布完了後）： 空気中 550℃  
 1時間

## 2. ガラス製眼鏡レンズ

第2表のプロセスパラメータを用い、凸面のガラスレンズ上に二酸化チタンと二酸化珪素の層を交互に含む26層の光学的性能を有する塗膜を形成するのに、前述の第1図乃至第3図に示される装置をこの場合もまた単一回転様式で用いた。第10図の%反射率曲線83及び%透過率曲線84により示されるように、塗膜は、目に損傷を与える赤外線を通さないために赤外付近に拒絶バンドを提供すると共に紫外付近にも拒絶バンドを提供し、MIL-C-675による標準イレーザー摩擦、耐摩耗性試験により特徴づけられる非常に高

いフィルム耐久性を提供するというスペクトル性能の設計目的を成就した。フィルムの目を保護する特徴の他に、実質的に可視光の透過に影響を及ぼすことなく種々の化粧用の色を成就するために塗膜の設計（層の厚さ）により約400乃至700nmの範囲にわたって選択的に可視光を透過吸収した。この設計は、嚴重な色の再現性の要件を成就するために成分層の光学的厚さを嚴重に制御する必要がある。本発明を用いて製造した製品は、先行技術の方法により製造された製品より2倍以上均一である。

第2表

支持体：	ガラス製サングラスレンズ
回転運動：	単一
物質1：	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> を形成するタンタル
物質2：	SiO <sub>2</sub> を形成する珪素
C. R. 1：	70 Å/秒
C. R. 2：	90 Å/秒
物質1ガス：	アルゴン400 sccm

物質2ガス： アルゴン400 sccm  
 物質1電力： 6 KW  
 物質2電力： 5 KW  
 アルゴンスパッター圧力： 2.5  $\mu$   
 物質1に関するイオン源作業： 4 アンペア；199  
 sccm 0<sub>2</sub>  
 物質2に関するイオン源作業： 2 アンペア；99  
 sccm 0<sub>2</sub>  
 後作業の焼付け： 空気中 450℃  
 1時間

## 3. プラスチック製眼鏡レンズ

目に損傷を与える赤外線を通さないために赤外付近に拒絶バンドを有すると共に紫外付近にも拒絶バンドを有する実施例2に記載されているフィルムと同一の26層青色フィルターフィルムを付着させるために第3表のプロセスを用い第1図乃至第3図に示される装置を単一回転様式で用いた。しかしながら、この場合の支持体はガラス製レンズではなくてプラスチック製のサングラスレンズであった。第11図によれば、%反射率曲線86及び%透過率曲線87により示されるように、薄いフィルムの塗膜は実施例2において考察されて

いる光学上の設計目的を成就すると共に、プロセス温度が非常に低い（約55℃）ためにプラスチックを融解させたり軟化させたりすることなくプラスチック上に付着させる目的も成就した。この能力は、プラスチックの支持体上に多層の耐久性がある光学的に透明な塗膜を形成することが伝統的に困難な作業であった全ての公知の先行技術の真空塗布プロセスとは異なる。これらの薄いフィルム塗膜はまた湿潤暴露（MIL-M-13508）及びスナップテープ接着試験（MIL-C-675）に合格した。

第3表

支持体：	プラスチック製サングラスレンズ
回転運動：	単一
物質1：	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> を形成するタンタル
物質2：	SiO <sub>2</sub> を形成する珪素
C. R. 1：	70 Å/秒
C. R. 2：	90 Å/秒
物質1ガス：	アルゴン400 sccm



物質 2 ガス : アルゴン 400 sccm  
 物質 1 電力 : 3 KW  
 物質 2 電力 : 5 KW  
 アルゴンスパッター圧力 : 2.5  $\mu$   
 物質 1 に関するイオン源作業 : 4 アンペア ; 199 sccm  $O_2$   
 物質 2 に関するイオン源作業 : 2 アンペア ; 99 sccm  $O_2$   
 後作業の焼付け : 無

#### 4. プラスチック用反射防止塗膜

約 55℃ のプロセス温度を用い平面及び凸面のプラスチック製支持体上に五酸化タンタル及び二酸化珪素の層を交互に含む四層の光学的フィルムを形成するのに、第 4 表に示されるプロセスに従って第 1 図乃至第 3 図に示される装置を単一回転様式で用いた。フィルムは四層を含んだ。

支持体 | (H L H L) | 周囲

但し、式中の L は二酸化珪素であり、H は五酸化タンタルであって、Q W O T H L H L はそれぞれ 117 nm、172 nm、1096 nm 及び 520 nm において中心に集まった。第 12 図の反射率曲

物質 2 に関するイオン源作業 : 4 アンペア ; 99 sccm  $O_2$

後作業の焼付け : 無

#### 5. 黄色のヘッドランプフィルター塗膜

二重回転様式及び第 5 表のプロセスを用い、ハロゲンヘッドランプ電球の石英外被上に 14 層のフィルムを付着させるのにも第 1 図乃至第 3 図に示される装置を用いた。フィルムは 3 種の物質を含み、複数の物質の精確な色合せが必要であり、かつ成分の薄い四分の一波層の精確な制御が必要である。その結果、フィルムの設計は施行が困難なものである。特定のフィルムの設計は以下のとおりであった。

支持体 |  $Fe_2O_3(H)(LH)^*$  | 周囲

但し、式中の L は二酸化珪素であり、H は五酸化タンタルであって、Q W O T  $Fe_2O_3$ 、H 及び (LH) はそれぞれ 14 nm、10 nm 及び 430 nm において中心に集まった。フィルムは石英の外被上に  $Fe_2O_3(H)(LH)^*$  の多層青色フィルターを再現性よく付着させる能力を示した。これらのフィルムのスペクトル性能は第 13 図に示されている。

線 88 によれば、フィルムは可視波長スペクトルにおいて反射率が非常に低く、プラスチックを融解又は軟化させることなく再現性よく非常に薄い (100 nm の厚さ) 層を付着させるという設計目的を満足させた。

第 4 表

支持体 :	ポリカーボネート及びアクリル系樹脂
回転運動 :	単一
物質 1 :	$Ta_2O_5$ を形成するタンタル
物質 2 :	$SiO_2$ を形成する珪素
C. R. 1 :	70 Å / 秒
C. R. 2 :	90 Å / 秒
物質 1 ガス :	アルゴン 400 sccm
物質 2 ガス :	アルゴン 400 sccm
物質 1 電力 :	3 KW
物質 2 電力 :	5 KW
アルゴンスパッター圧力 :	2.5 $\mu$
物質 1 に関するイオン源作業 :	4 アンペア ; 199 sccm $O_2$

$Fe_2O_3$  吸収剤層を用いる場合には曲線 91 が % 透過率を示す。曲線 92 は  $Fe_2O_3$  を用いない場合の性能を示す。第 13 図は、多層青色フィルター及び  $Fe_2O_3$  選択的吸収剤の組合せが約 500 乃至 600 nm の範囲にわたって黄色の光を透過し、約 450 nm における青色光の透過を阻止し、かつ高い反射角の特徴的な青色コロナ及びガラス外被の透過を除去することを示す。

第 5 表

支持体 :	ハロゲンランプ外被
回転運動 :	二重 (遊星)
物質 1 :	$Ta_2O_5$ を形成するタンタル
物質 2 :	$SiO_2$ を形成する珪素
C. R. 1 :	150 Å / 秒
C. R. 2 :	100 Å / 秒
物質 1 ガス :	アルゴン 400 sccm
物質 2 ガス :	アルゴン 400 sccm
物質 1 電力 :	6 KW
物質 2 電力 :	5 KW

アルゴンスパッター圧力: 2.5  $\mu$   
 物質1に関するイオン源作業: 1 アンペア; 200 sccm  $O_2$   
 物質2に関するイオン源作業: 1 アンペア; 100 sccm  $O_2$   
 後作業の焼付け: 空气中 600  $^{\circ}C$  1時間

#### 6. 薄い高温 (hot) 成形鏡塗膜

赤外 (IR) 輻射エネルギー加熱ランプに使用される管状石英ランプの外披上に1.5層のフィルムを形成するのに、第1図乃至第3図に示される装置を二重回転様式で作業させた。塗膜は、内部のタングステンハロゲンフィラメントより発する赤外エネルギーを反射しつつ可視エネルギーを透過するように設計されているので、“薄い高温成形鏡 (thin hot mirror)” と呼ばれる。赤外エネルギーはランプのフィラメント上に幾何学的に入射するので塗膜はランプ電力の低下の原因となる。エネルギーはフィラメントを加熱するのに使用されるので、ランプをつけるのに必要な電力量は減少する。特定フィルムの設計は以下のとおりである。

物質2ガス: アルゴン 400 sccm  
 物質1電力: 6 KW  
 物質2電力: 5 KW  
 アルゴンスパッター圧力: 2.5  $\mu$   
 物質1に関するイオン源作業: 2 アンペア; 199 sccm  $O_2$   
 物質2に関するイオン源作業: 2 アンペア; 99 sccm  $O_2$   
 後作業の焼付け: 空气中 600  $^{\circ}C$  1時間

前述の好ましい本発明の実施例及びそれらに代わる実施例より、当業者は本明細書に開示されている内容に基づき特許請求の範囲内で本発明を容易に改良したり拡張したりしうことは認められるであろう。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図及び第2図は、それぞれ、本発明の原理を具体化する単一回転円筒状ドラム磁電管増大真空スパッター系の簡単化模式的透視図及び横断面図であり、第3図は本発明の原理を具体化する磁電管増大真空スパッター系の二重回転円筒状ドラム実施例の簡単化模式的透視図であり、第4図及

支持体1 (L/2 H L/2) \* 1 周囲  
 = 900 nm

但し、式中のLは二酸化珪素であり、Hは五酸化タantalである。QWOTは900 nmにおいて中心に集まった。これらのフィルムのスペクトル性能は第14図に示されている。曲線93は%透過率を波長の関数として表わし、ホットミラーフィルム又は塗膜が約400乃至750 nmの範囲で可視光を透過し、約750乃至1100 nmの範囲でIRエネルギーをフィラメントの方に反射することを示す。

第6表

支持体:	10 mm 石英管
回転運動:	二重 (遊星)
物質1:	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> を形成するタantal
物質2:	SiO <sub>2</sub> を形成する珪素
C. R. 1:	150 A/秒
C. R. 2:	100 A/秒
物質1ガス:	アルゴン 400 sccm

び第5図は、それぞれ、本発明の磁電管増大真空スパッター系に有用なDC線状磁電管スパッター装置の一型式の簡単化模式的、部分的に切り取った透視図及び横断面図であり、第6図及び第7図は、それぞれ、本発明の磁電管増大真空スパッター系に有用な線状磁電管イオン源の一実施例の分解組立透視図及び一部模式的な端面図であり、第8図は本発明の系の別の回転円筒状ドラムの実施例の簡単化模式的水平断面図であり、第9図乃至第14図は(a)曲面のガラス製の鏡 (第9図)、ガラス製の眼鏡レンズ (第10図)、プラスチック製の眼鏡レンズ (第11図) 上に付着させた光学的性能を有するフィルム、及び(b)プラスチック上の反射防止塗膜 (第12図)、黄色のヘッドランプフィルター塗膜 (第13図)、及び赤外輻射エネルギー加熱ランプ上の鏡塗膜 (第14図) に関する透過率及び反射率曲線の一方又は双方を示し、第15A図及び第15B図は、それぞれ、第9図に示される透過特性を有する反射多層酸化物塗膜が本発明を用いて形成される深皿ガラス製ランプ

反射鏡の模式化透視図及び縦断面図であり、第16図は斜めの入射角の付着を妨げるために凸面の支持体をマスキングする先行技術のマーチン／ランコート (Martin/Rancourt) 技術を模式的に表わし、第17図は第3図の二重回転スキームを用いて円筒状ガラス製電球上に薄いフィルムを付着させる方法を模式的に示し、第18A図及び第18B図は、それぞれ、平面、凹面又は浅い凸面の支持体の中心部及び端部のターゲット及び支持体間距離を模式的に示し、第19図は第18A図及び第18B図の凹面の支持体に関連する断面の厚さを示し、第20図は第21図に示された均一の厚さ、又は平面、凹面、又は浅い凸面の支持体用に選択した断面の厚さを得るのに用いられる支持体の位置の関数としてのターゲットの電力のグラフを示し、第21図は支持体の各位置における断面の厚さを示すグラフを示し、第22A図及び第22B図は、それぞれ、凸面の支持体の中心部及び端部のターゲット及び支持体間の距離を模式的に示し、第23図は第22A図及び第22B図の

凸面の支持体に関連する断面の厚さを模式的に示し、かつ第24図は第25図の均一な断面の厚さ、又は凸面の支持体用選択した断面の厚さをえるのに用いられる支持体の位置の関数としてのターゲットの電力のグラフを示し、第25図は支持体の各位置における断面の厚さを示すグラフを示す。

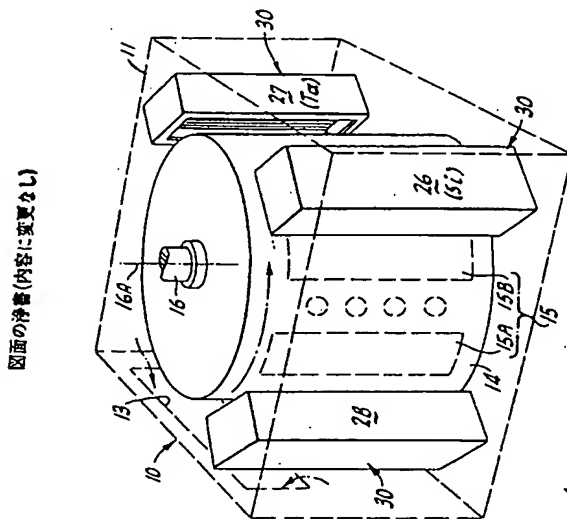


FIG-1

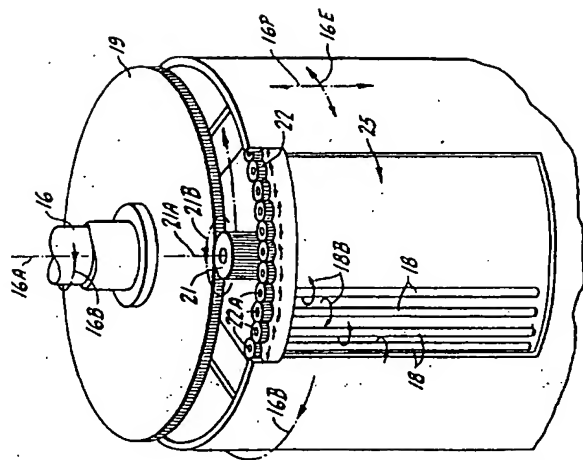


FIG-3

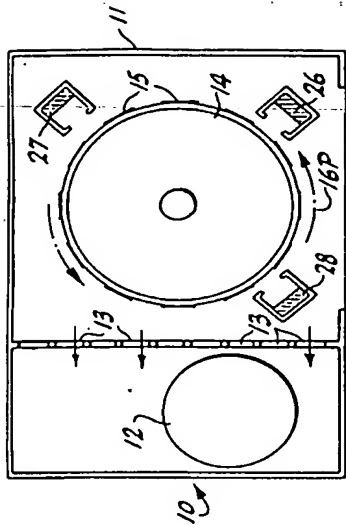


FIG-2

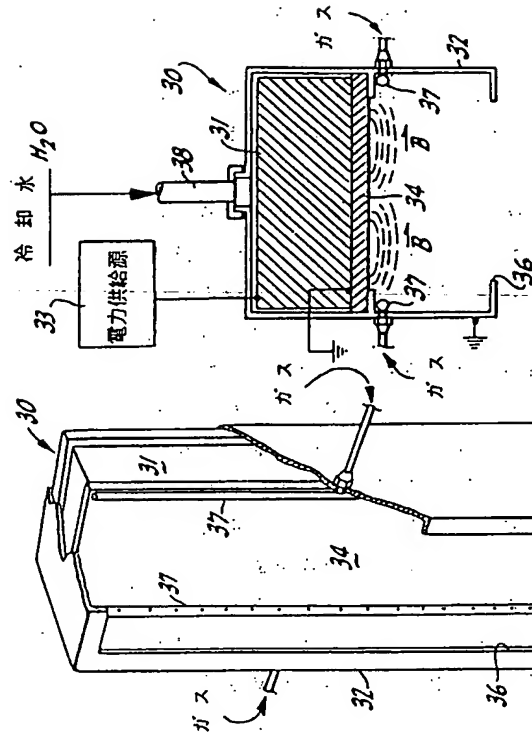


FIG-5

FIG-4

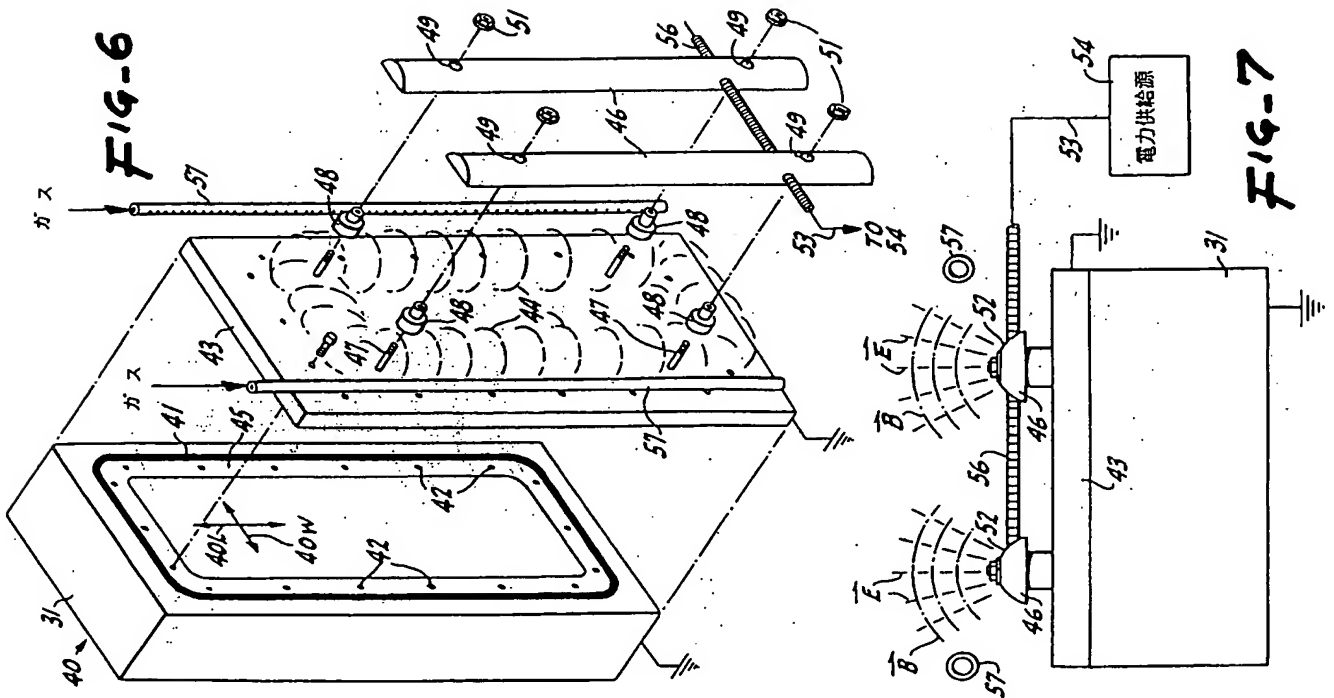
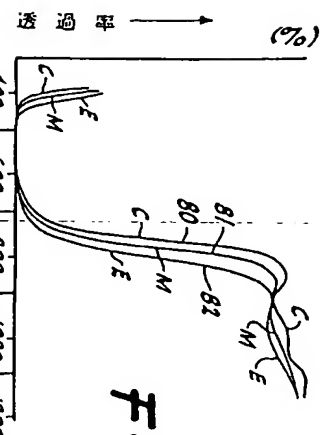
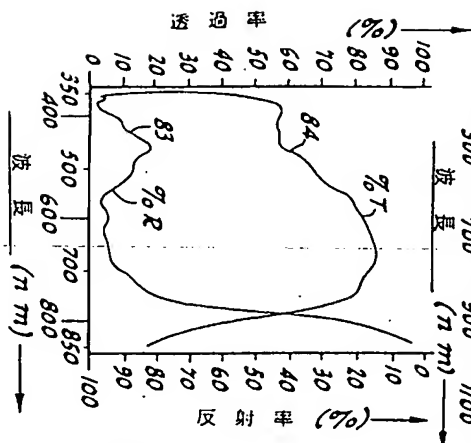


FIG-6

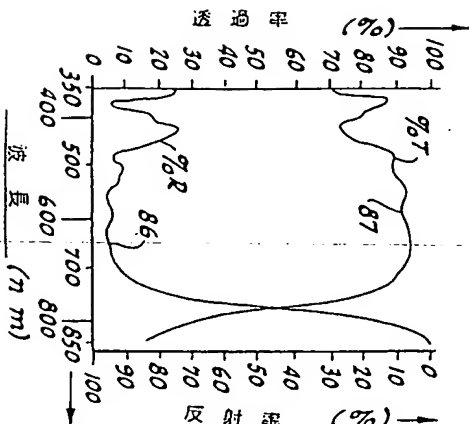
FIG-7



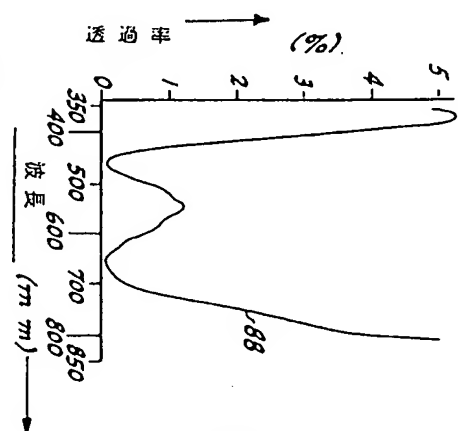
F14-9



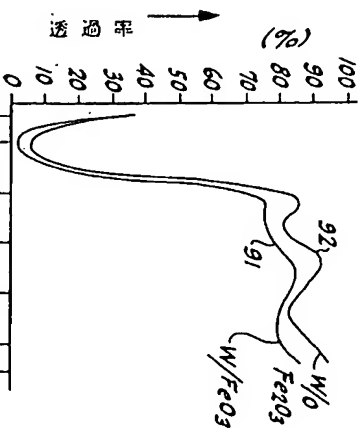
F14-10



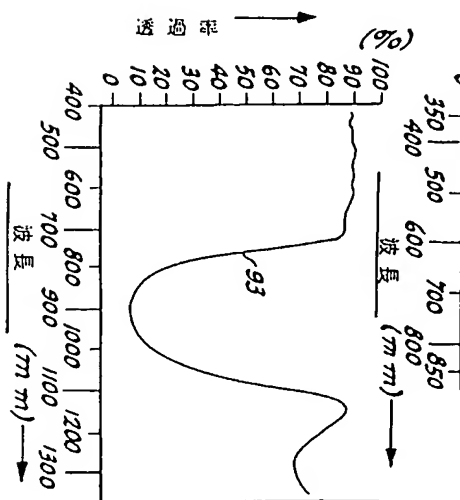
F14-11



F14-12



F14-13



F14-14

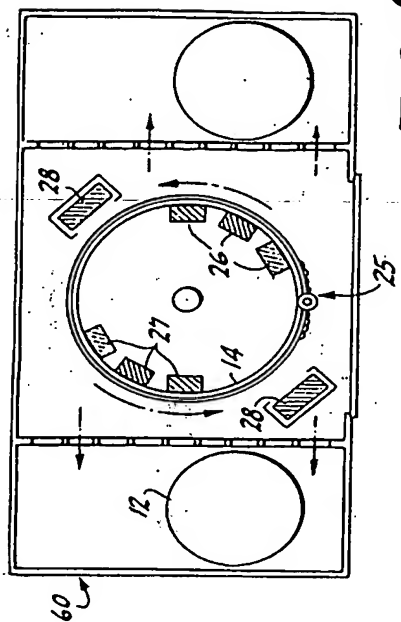


FIG-8

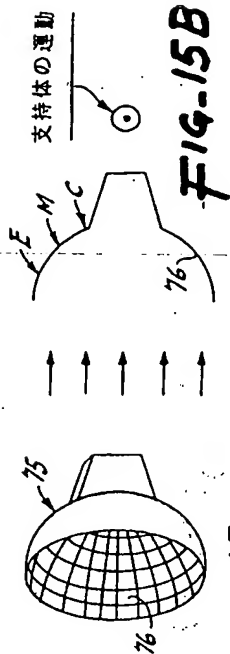


FIG-15A

FIG-15B

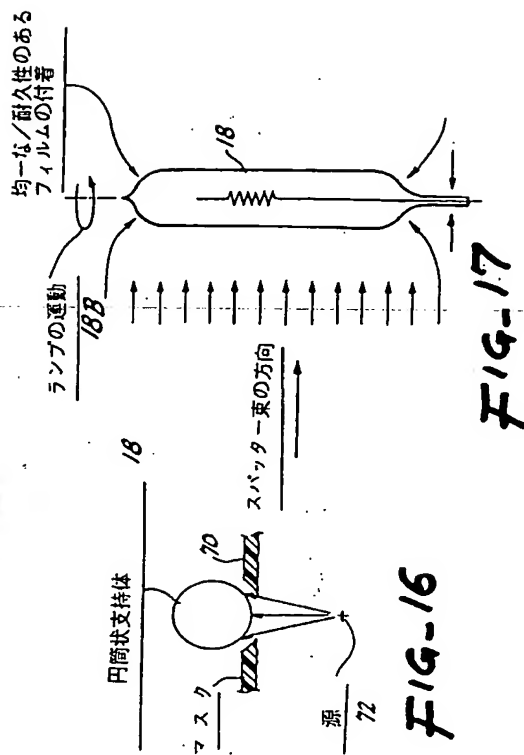


FIG-16

FIG-17

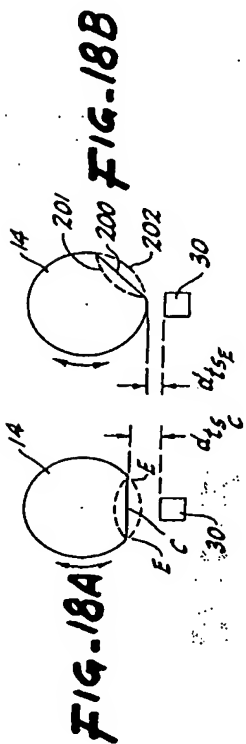


FIG-18A

FIG-18B

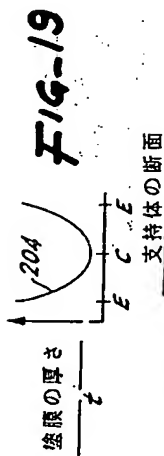


FIG-19

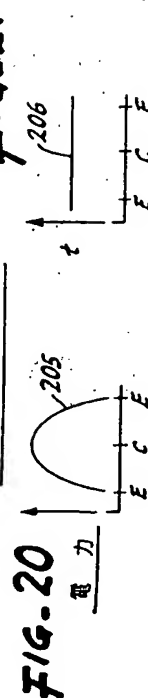


FIG-20

FIG-21

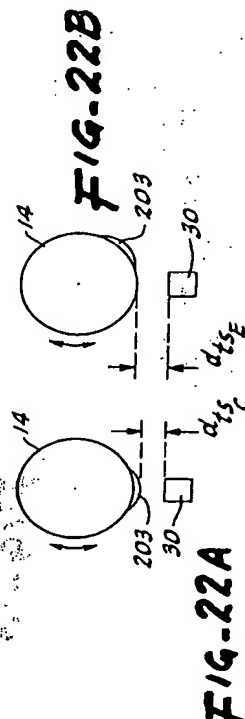


FIG-22A

FIG-22B

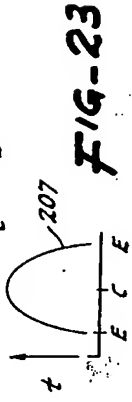


FIG-23

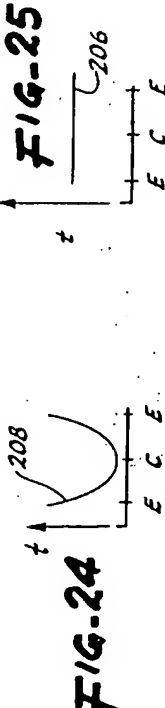


FIG-24

FIG-25

## 第1頁の続き

⑤Int. Cl.<sup>5</sup>

G 02 B 1/10

識別記号

Z

庁内整理番号

8106-2H

⑦発明者	ジェイムズ ダブリュ ー シーザー	アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95404 サンタ ーザ ホリー オーク ウェイ 3500
⑦発明者	リチャード イアン シドン	アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95404 サンタ ーザ カミングス ドライヴ 2245
⑦発明者	マイケル エイ スコ ービー	アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95407 サンタ ーザ ストーニー ポイント ロード 150
⑦発明者	バリー ダブリュ マンリー	アメリカ合衆国 コロラド州 80301 ボールダー アー バル ストリート 3974

手続補正書(方式) 3.4.26

平成 21 年 10 月 30 日

特許庁長官 植松 敏 殿

1. 事件の表示 平成2年特許願第190360号

2. 発明の名称 平面及び非平面の支持体上に光学的な性能を有する薄いフィルムを付着させる方法

3. 補正をする者

事件との関係 出願人

名称 オプティカル コーティング ラボラトリー  
インコーポレーテッド

4. 代理人

住所 東京都千代田区丸の内3丁目3番1号  
電話(代) 211-8741

氏名 (5995) 弁理士 中 村

5. 補正命令の日付 平成2年10月30日

6. 補正の対象

願書の特許出願人の欄  
代理権を証明する書面  
明細書の図面の簡単な説明の欄  
明細書 図 面

7. 補正の内容

別紙のとおり

1. 願書に最初に添付した図面の浄書(内容に変更なし)・別紙のとおり

2. 願書に最初に添付した明細書の浄書(内容に変更なし)・別紙のとおり

尚、御指令により明細書の図面の簡単な説明の欄の第21図及び第25図の説明を正確に致しました。